

MINERIA DE CAMPO

DISEÑO SUAVIZADO DE LA FOSA FINAL DE EXCAVACIÓN DE LA MINA  
LOS BARRANCOS-CSV FERROMINERA ORINOCO C.A. CIUDAD PIAR,  
ESTADO BOLIVAR.

INFORME PRESENTADO ANTE LA ESCUELA  
DE GEOLOGIA, MINAS Y GEOFISICA DE LA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
POR LA BR. Alexandra Maria Tovar Heredia  
PARA OPTAR A LA ASIGNATURA:  
Minería de Campo (3230)

CARACAS, 2019

# MINERIA DE CAMPO

DISEÑO SUAVIZADO DE LA FOSA FINAL DE EXCAVACIÓN DE LA MINA  
LOS BARRANCOS-CSV FERROMINERA ORINOCO C.A. CIUDAD PIAR,  
ESTADO BOLIVAR.

TUTOR INDUSTRIAL: Jose Gregório Freites.  
TUTOR ACADÉMICO: Jessica Mercedes López.

CARACAS, 2019

## **RESUMEN**

Br. Alexandra Maria Tovar Heredia

### **DISEÑO SUAVIZADO DE LA FOSA FINAL DE EXCAVACIÓN DE LA MINA LOS BARRANCOS-CSV FERROMINERA ORINOCO C.A. CIUDAD PIAR, ESTADO BOLIVAR.**

Tutor industrial: José Gregorio Freites.

Tutor Académico: Jessica Mercedes López<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> C.S.V FERROMINERA ORINOCO, C.A. <sup>2</sup> Universidad Central de Venezuela

Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería. Universidad Central  
de Venezuela, Caracas, Venezuela. Alexandratovarh@gmail.com

Palabras claves: MineSight 3-D, pit, mineral, tenor

La mina Los Barrancos ubicada en el Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro es una de las minas en explotación de la empresa CSV Ferrominera Orinoco C.A para satisfacer las necesidades de mineral de hierro de los mercados nacionales e internacionales. Para lograr el aprovechamiento óptimo es necesario realizar un diseño suavizado de la fosa final de excavación a partir de un modelo de bloques generado por la Jefatura de Geología. Por ello se realizó una actualización del diseño de la fosa final de excavación tomando en cuenta solo el mineral de alto tenor. La metodología utilizada consistió en una revisión bibliográfica acerca del uso del programa MineSight 3-D específicamente de la herramienta “Pit Expansion” con la cual se realizó una expansión nivel a nivel con parámetros específicos de la empresa para poder lograr el diseño hasta la cota deseada, además se realizó una visita técnica a diferentes Jefaturas de CSV Ferrominera Orinoco C.A en sus operaciones de Ciudad Piar para tener una visión general de las actividades de la empresa. En los resultados se generó el diseño suavizado y un reporte del volumen de mineral de alto tenor, comparándolos con los resultados de volumen antes de suavizar la fosa final. En conclusión los reportes generados muestran una diferencia del 10.64% de volumen de material que es necesaria remover para lograr un diseño más ajustado al óptimo y tener áreas operativas donde los equipos operen con mayor facilidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios.

A Mery Heredia y Alejandro Tovar.

A todo el personal de la Jefatura de Área de Planificación de minas por todo su apoyo durante mis pasantías.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
ÍNDICE.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.1 Planteamiento del problema .....	7
1.2 Objetivo de la investigación .....	7
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Justificación.....	7
1.4 Alcances y Limitaciones.....	8
CAPITULO 2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	9
2.1 Localización geográfica.....	9
2.2 Reseña histórica .....	9
2.3. Estructura Organizativa .....	10
2.4 Proceso productivo .....	12
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO.....	14
3.1 Antecedentes de la investigación.....	14
3.2 Generalidades del Yacimiento.....	14
3.2.2 Acceso al Yacimiento .....	15
3.2.3 Geología del yacimiento .....	15
CAPITULO 4. MARCO METODOLÓGICO.....	18
4.1 Tipo de investigación.....	18
4.2 Diseño de la investigación .....	18
4.3 Sujeto de estudio.....	18
4.4 Instrumentos utilizados.....	19
4.5 Herramientas de Diseño del MineSight 3-D .....	19
CAPITULO 5. RESULTADOS.....	29
CONCLUSIONES .....	32

RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## INTRODUCCIÓN

La empresa CSV Ferrominera Orinoco C.A. se encarga de la extracción de mineral hierro de la nación, para esto es utilizada una minería a cielo abierto, la cual exige una planificación de las minas a futuro para la optimización de los recursos presentes. Por tal motivo, surge la necesidad de obtener el diseño suavizado de la mina Los Barrancos, siendo el yacimiento más extenso ubicado en el Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro del Estado Bolívar.

La Jefatura del Área de Planificación de Minas de CSV Ferrominera Orinoco C.A, cuenta con programas avanzados que facilitan las actividades de planificación de los diferentes yacimientos. En este trabajo se utilizó el software MineSight 3-D, con el cual se generó un reporte de volumen de mineral de la fosa, para posteriormente realizar el diseño suavizado con apoyo específicamente en la herramienta Pit Expansion, tomando en cuenta diferentes parámetros como lo son: elevación, altura de banco, ángulo de fosa y ángulo de talud, los cuales fueron suministrados por la empresa. Posterior al diseño final se realizó nuevamente un reporte de volumen de mineral de la fosa ya suavizada y se comparó con el primer reporte para concluir que es necesario realizar este diseño final ya que es la remoción de mineral permite la movilidad de los equipos, evitando áreas angulosas en la fosa final que no se adecuen a los radios de giro de los mismos.

Este trabajo está estructurado en cinco capítulos, el primero abarca las generalidades de la investigación, el segundo las generalidades de la empresa, el tercero se desarrolla el marco teórico que fundamenta la investigación, el cuarto las actividades de familiarización con la empresa y el diseño suavizado de la fosa de la mina Los Barrancos y finalmente las conclusiones y referencias bibliográficas.

## **CAPITULO I. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El Área de Planificación de Minas de CSV Ferrominera Orinoco, C.A, se encarga de elaborar los diferentes proyectos a corto y largo plazo de los diferentes yacimientos operados por la empresa. Este departamento cuenta con el diseño de la fosa final de excavación de la Mina Los Barrancos, sin embargo el mismo no está ajustado a las necesidades reales desde el punto de vista operativo; por lo cual es necesario un diseño suavizado que se adecue a los radios de giros de los equipos y operatividad de los mismos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el software minero MineSight 3D, específicamente la herramienta Pit Expansion Tool para suavizar el diseño suministrado por la empresa y obtener el diseño suavizado de la fosa final de excavación de la Mina Los Barrancos ubicada en el Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro, lo cual genera un beneficio para los mercados nacionales e internacionales.

### **1.2 Objetivo de la investigación**

#### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar la fosa final suavizada de la Mina Los Barrancos, CSV Ferrominera Orinoco C.A. utilizando el programa MineSight pit Expansión Tool.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Importar topografía de pit final.
- Generar los reportes de volumen por niveles.
- Definir parámetros de diseño.
- Realizar el pit suavizado de la fosa final de la mina Los Barrancos.
- Reportar el volumen del pit suavizado por niveles.

### **1.3 Justificación**

El siguiente trabajo aportara el conocimiento teórico y práctico en el diseño óptimo operativo de la fosa final de excavación de la mina Los Barrancos CSV Ferrominera

Orinoco C.A. Además, proporcionará la metodología que se llevó a cabo para el proceso de suavizado del pit mediante el uso del software MineSight 3D lo cual es de importancia para la ingeniería de minas, específicamente en el área de planificación de mina

Este trabajo será puesto a disposición de la Universidad Central de Venezuela para futuras investigaciones de planificación de minas de la escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería. Finalmente, este trabajo contribuye al mayor rendimiento de las operaciones mineras realizadas por CSV Ferrominera Orinoco C.A. beneficiando toda la nación.

#### **1.4 Alcances y Limitaciones**

El alcance de este trabajo está en la obtención de una fosa suavizada a partir de un diseño importado generado de un modelo de bloques tomando en cuenta el mineral de alto tenor (Menas duras y blandas).

No se presentaron limitaciones importantes.

## **CAPITULO 2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **2.1 Localización geográfica**

Geográficamente, la empresa CSV Ferrominera Orinoco C.A, se encuentra distribuida entre Ciudad Piar y Puerto Ordaz (Ciudad Guayana). Las operaciones mineras (incluyendo las actividades de exploración geológica de reservas de mineral de hierro, planificación, desarrollo, explotación de minas y transporte hacia los puertos de procesamiento), se ejecutan en el Distrito Ferrífero Piar, el almacenaje, procesamiento y despacho de mineral de hierro y sus derivados en los puertos de Puerto Ordaz y Palúa ubicados en las riberas del río Orinoco y río Caroní y la sede administrativa de la Empresa se encuentra en avenida Vía Caracas, edificio de administración N° 2, Puerto Ordaz, Estado Bolívar, código postal 8050-Venezuela.

### **2.2 Reseña histórica**

Entre las empresas básicas que conforman la Corporación Venezolana de Guayana está la CSV Ferrominera Orinoco C.A., encargada de explorar, explotar y comercializar el mineral del hierro y sus derivados, para suministrar un producto con eficiencia, productividad y calidad a la industria y mercados económicamente atractivos. Su origen se dio de la siguiente manera:

**1926**, se descubre el Cerro El Pao. El señor Arturo Vera, quien tenía un fundo en Las Adjuntas, encuentra un canto rodado de una roca negra, brillante, dura y pesada, que lleva a su casa y utiliza para amolar machetes. Simón Piñero, empleado de la firma Boccardo y Cia. De Ciudad Bolívar, acompaña más tarde a Vera hasta el Cerro Florero, donde obtienen muestras suficientes para enviar a los Estados Unidos.

**1933**, la empresa norteamericana Bethlehem Steel Co. hace las primeras perforaciones y se constituye la Iron Mines Company of Venezuela.

**1939**, y como resultado del potencial ferrífero de la región, el Ejecutivo decreta zona reservada para la exploración y explotación del mineral de hierro los distritos Piar y Roscio del Estado Bolívar y el Territorio Federal Delta Amacuro.

**1945**, la Oliver Iron Mining Co., subsidiaria de la U.S. Steel, inicia la exploración al este

del Caroní, bajo la dirección del geólogo Mack C. Lake.

**1947**, Folke Kihlstedt y Victor Paulik, exploran y obtienen el título del Cerro la Parida, nombre cambiado en 1948 por el de Cerro Bolívar. Exploran igualmente los Cerros Redondo y Arimagua.

**1949**, se funda la Orinoco Mining Company, subsidiaria de la U.S. Steel Corporation, de los Estados Unidos. El señor Mack C. Lake es designado como su primer presidente. **1950**, El primer tren cargado de mineral efectúa el recorrido el 24 de Julio entre El Pao y Palúa **1954**, se inauguran las operaciones de la Orinoco Mining Co. El 9 de enero zarpa el buque Tosca con el primer cargamento comercial de mineral de hierro con destino a Fairless Works (U.S.A). Ese año se exportan 3 millones de toneladas

**1968**, se inicia la construcción de la Planta de Briquetas de la Orinoco Mining Company. El 1º de enero de 1975 queda nacionalizada la industria del hierro en Venezuela. El 3 de enero, zarpa el buque Tyne Ore con una carga de 17.417 toneladas de mineral de hierro con destino a Birkenhead, Inglaterra, el primer embarque después de la nacionalización. Se da inicio al año de la transición y la C.V.G, dando cumplimiento a lo establecido en el Decreto Ley 580, suscribe el 10 de diciembre el Acta Constitutiva de la empresa C.V.G, Ferrominera Orinoco, C.A. ante el registro de comercio.

**1976**, a partir de este año C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. inicia sus operaciones como empresa responsable de la explotación y aprovechamiento del mineral de hierro en todo el territorio nacional.

C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., es la empresa Venezolana que se ha dedicado a la industria extractiva de mineral de hierro y es la encargada de la comercialización del mineral de hierro; proporciona la materia prima para la industria siderúrgica nacional y para mercados de exportación. (CVG Ferrominera Orinoco)

**2019** La empresa cambió de nombre a CSV Ferrominera Orinoco C.A.

### **2.3. Estructura Organizativa**

CSV Ferrominera Orinoco C.A., es una filial de la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) y presenta un organigrama en forma vertical el cual se observa en la figura 1.

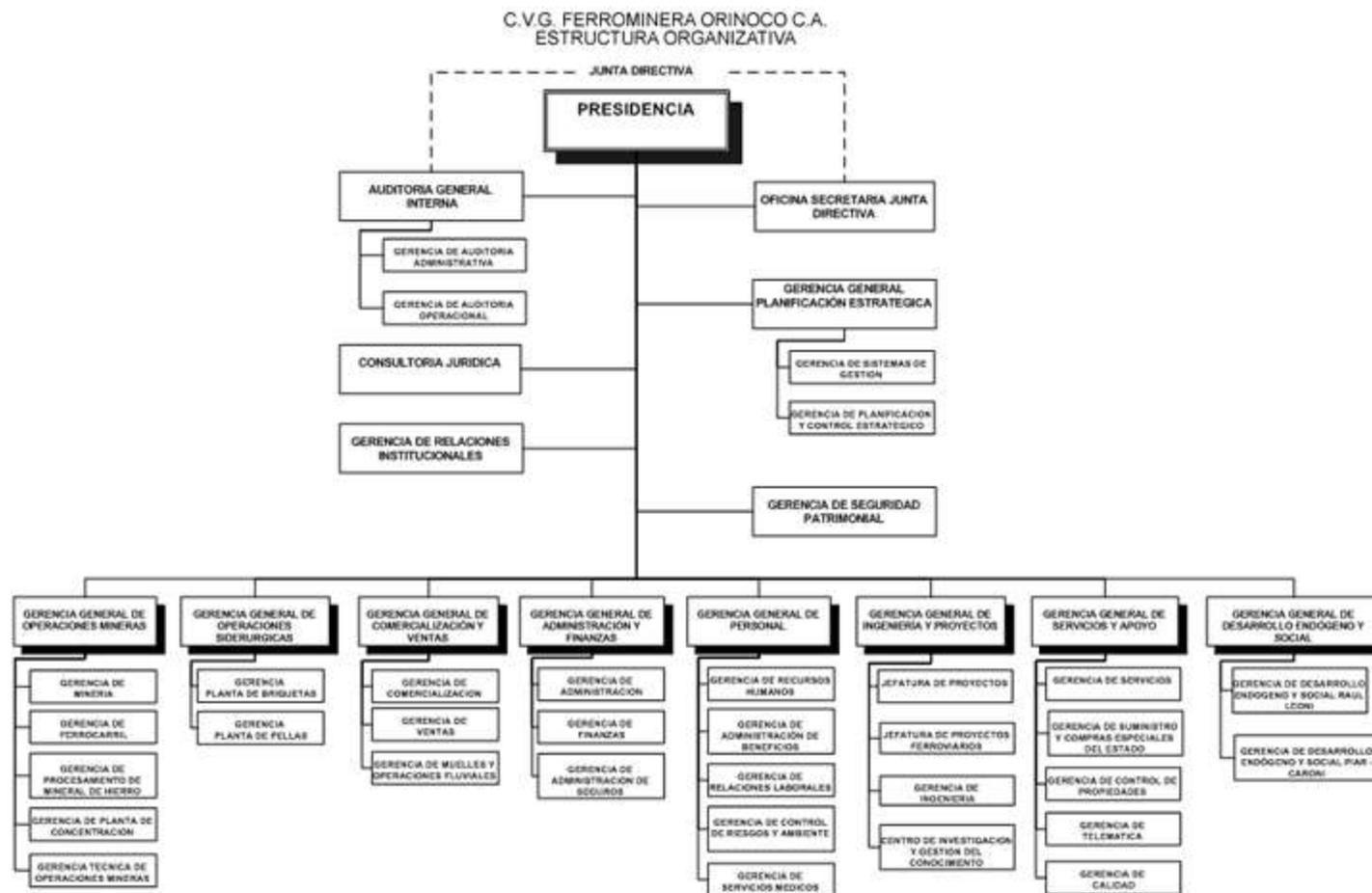


Figura 1. Estructura Organizativa antigua CVG Ferrominera Orinoco C.A. 2010.

## **2.4 Proceso productivo**

De acuerdo a la Gerencia de Minería de CSV Ferrominera Orinoco C.A. el proceso de producción de mineral de hierro empieza por la exploración geológica, donde el conocimiento geológico de superficie y el análisis de interpretación de las perforaciones exploratorias son fuentes generadoras de información que permite al geólogo determinar con cierta precisión la forma, dimensión y estructura del cuerpo mineralizado; seguidamente planificación de mina, la cual se encarga de la cubicación de las reservas, cálculos de tenor, diseño detallado de los planes de extracción, transporte del material hasta la elaboración de los proyectos y desarrollos mineros necesarios para la máxima recuperación del mineral comerciable y al menor costo posible. Posteriormente, está la perforación y voladura que corresponde a la primera fase para el arranque del mineral; la cual consiste en la apertura de barrenos y posterior carga con explosivos para obtener un material fragmentado luego de la detonación, una vez que es fragmentado el mineral por efecto de la voladura es removido por palas hidráulicas desde los frentes de producción; adicionalmente, también se cuenta con cargadores frontales para la carga de vagones. Y para el acarreo de mineral, Ferrominera cuenta con una flota de camiones roqueros con capacidades de 90 y 180 toneladas.

Ferrominera posee 2 plantas de trituración ubicadas en la mina Los Barrancos: La PTLB I que cuenta con 2 líneas paralelas de producción y la PTLB II. Para finalizar el proceso, una vez cargados los vagones en los muelles y/o estaciones de carga, son llevados al patio de ferrocarril donde se realizan los acoples de trenes con destino a Puerto Ordaz.

En la figura 2 se presenta un modelo grafico del proceso de producción del mineral de hierro.



Figura 2. Proceso Productivo CSV Ferrominera Orinoco C.A.

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Antecedentes de la investigación

García, E. (2007) *108-P-04 CREACION DE FOSA FINAL DE EXCAVACION EN PROYECTOS MINESIGHT (HERRAMIENTA PIT EXPANSION TOOL)*. Realizó el instructivo del procedimiento para la creación de la fosa final de excavación con la herramienta pit expansion.

García, E. (2007) *108-P-04 ASPECTOS MINEROS Y METALURGICOS*. Realizó el instructivo para dar a conocer los diferentes ítems que deben tomarse en cuenta al momento de diseñar las diferentes vías de acceso a la mina y como realizar de manera adecuada el diseño de taludes según la experiencia adquirida por el recurso humano de la compañía a lo largo de su trayectoria en la misma.

Ortiz, L & Dos Santos, Y. (2017) *DISEÑO DE LA FOSA FINAL DE EXCAVACION DE BAJO TENOR FRIABLE DEL GRUPO REDONDO CON MINESIGHT. C.V.G FERROMINERA, C.A. MUNICIPIO BOLIVARIANO ANGOSTURA DEL ESTADO BOLIVAR*. Realizaron el diseño de la fosa final de excavación utilizando MineSight pit expansion tool

Villanera, S & Villanera, S. (2008) *PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO MINERO PARA LAS MINAS SAN ISIDRO, LOS BARRANCOS, LAS PAILAS Y ALTAMIRA A PARTIR DEL LÍMITE FINAL DE EXCAVACIÓN MEDIANTE el software minero MINESIGHT. CVG Ferrominera Orinoco. Ciudad piar. Estado Bolívar*. Realizaron la planificación a partir del límite final de excavación de diferentes minas, entre ellas la mina Los Barrancos.

### 3.2 Generalidades del Yacimiento

#### 3.2.1 Ubicación Geográfica

La mina Los Barrancos está situada dentro del cuadrilátero Ferrífero de San Isidro, jurisdicción del Municipio Bolivariano Angostura del Estado Bolívar, con coordenadas aproximadas de 63°10' Longitud Oeste y 7°25' Latitud Norte. Su ubicación geográfica se encuentra a unos 85 km al SE de Ciudad Bolívar y a 95 km al sur de Puerto Ordaz.

(Villanera & Villanera, 2008)



Figura 3. Ubicación relativa de mina Los Barrancos. CSV Ferrominera Orinoco C.A.

### 3.2.2 Acceso al Yacimiento

Los Barrancos se encuentra a unos 85 km al SE de Ciudad Bolívar y a 95 km al sur de Puerto Ordaz. Es el yacimiento más oriental y el de mayor extensión del grupo San Isidro. Presenta una estructura muy irregular y una topografía bastante accidentada. Se accesa por una carretera que es la continuación de la carretera Ciudad Piar-Cerro San Isidro La mina Los Barrancos, y específicamente la zona a estudiar está enmarcada entre las coordenadas Norte 18.000 – 14.000; Este 20.600 – 15.000 y su elevación 805 -280. (Garcia, 2007)

### 3.2.3 Geología del yacimiento

Posee una altura máxima de 790 m.s.n.m. La parte sur de este yacimiento forma un escarpado de fallas (de unos 3 kilómetros) en dirección E-O con alturas que varían entre 30 y 150 metros sobre las sabanas que lo rodean.

El depósito de Los Barrancos es porción de un anticlinal que presenta doble buzamiento y está deprimido en su parte central, de tal manera, que las laderas de Los Barrancos I y II están muy cercanas.

Debido a la gran extensión, topografía irregular y a las diferencias estructurales que presenta, se ha dividido en 5 zonas (A, B, C, D y E). Las zonas A y B forman parte del área denominada Los Barrancos I, y las zonas C, D y E de Los Barrancos II.

Las menas de hierro de Los Barrancos tienen un tenor promedio de 63,4% de hierro seco.  
(García, 2007)

**Tabla 1. Análisis químico típico de Los Barrancos (tomado de la CVG F.M.O. et al. 2000).**

Parámetros Químicos	Porcentaje
Hierro	63.40%
Sílice	2.80%
Pérdida por calcinación	4.60%
Alúmina	2.00%

### 3.3 Cronograma de actividades de familiarización

Se asignó un cronograma de visitas a ser desarrollado para la fase de familiarización que se muestra a continuación:

**Tabla 2. Cronograma de actividades de familiarización**

Fecha	Área	Objetivo	Responsable
15/08/2018	Jefatura Área de Geología	a. Determinar con cierta precisión la forma, dimensión y estructura de cuerpo mineralizado.	Yipsys Subero Jefe de Área
16/08/2018	Supervisión de Perforación	a. Perforación de conos para voladura	Nelayde Millán Supervisora
17/08/2018	Supervisión de Voladura	Llenado de conos para voladura Amarre de conos de voladura.	Yoguis Pérez Inspector Técnico de Voladura
21/08/2018	Superintendencia de PTLB	a. Proceso de trituración y cribado.	Rafael Osuna Superintendente

21/08/2018	Superintendencia de Mantenimiento	Principios básicos de mantenimiento de equipos  Reparación de equipos en los diferentes talleres (Eléctrico, Palas y Taladros, Lubricación y cauchos, soldadura, mecánico)	Ángel Mérida Superintendente
22/08/2018	Superintendencia de Aseguramiento CP	Principios básicos de aseguramiento a la calidad. Técnicas de muestreo en la mina. Planes de calidad. Formación de pilas "H". Conformación de trenes.	Lesli Low Superintendente
23/08/2018	Superintendencia de Operaciones Ferroviarias CP	Tráfico de trenes cargados y vacíos desde Cdad. Piar hasta Pto. Ordaz. Itinerario de trenes.	José G.Gruber Superintendente

## CAPITULO 4. MARCO METODOLÓGICO

### 4.1 Tipo de investigación

De acuerdo con Balestrini (2006) el tipo de investigación es de campo, la cual consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables.

### 4.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación constituye un plan general para obtener respuestas a interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación y desglosar las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable. (Hurtado, 2010) De acuerdo a los parámetros que se toman en cuenta para catalogar el diseño de una investigación, el presente trabajo especial de grado se caracteriza por ser del tipo no experimental.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipula en forma deliberada ninguna variable.

### 4.3 Sujeto de estudio

El sujeto de estudio o muestra es la mina Los Barrancos de CSV Ferrominera Orinoco C.A, específicamente los datos topográficos suministrados por la empresa para poder realizar el diseño óptimo de acuerdo a los parámetros establecidos por la misma.

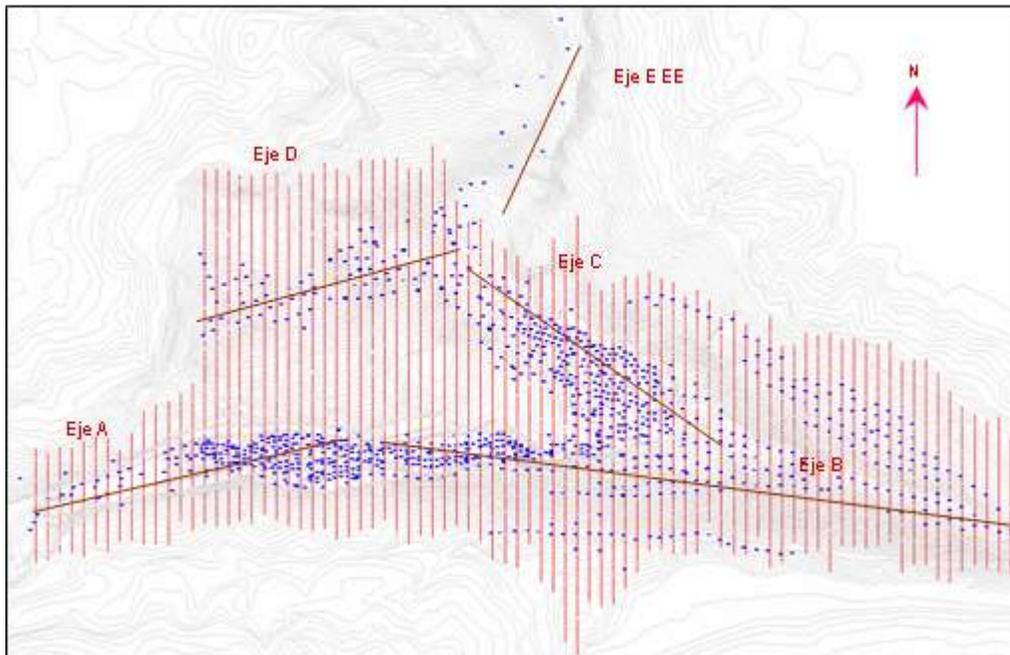


Figura 4. Ubicación de los diferentes ejes y muestras de la mina Los Barrancos

#### **4.4 Instrumentos utilizados**

Para la realización de este trabajo se utilizaron los siguientes instrumentos para lograr los objetivos planteados:

- Bibliografía de optimización de fosa, manual MineSight 3D
- Software minero MineSight 3D
- Equipo de computación con memoria grafica
- Software open office.

#### **4.5 Herramientas de Diseño del MineSight 3-D**

MineSight 3-D es uno de los componentes más importantes y completo del paquete de programas para la evaluación y diseño de minas en tres dimensiones, incorporando la interfaz de MineSight 3-D y la interfaz del administrador de programas de MineSight Compass.

La interfaz de MineSight consiste en dos ventanas principales, la Ventana del Control Visual (Viewer Control Window) y el Administrador de Datos (Data Manager). La Ventana de Control Visual contiene los visores de MineSight, los menús desplegables y un número de iconos y ventanas de control usados para manipular los valores y el aspecto de los datos del proyecto de MineSight. El Data manager (Ver figura 4) da el acceso a la estructura de los archivos del proyecto creados en MineSight, presentando las carpetas y los objetos en un conveniente explorador para una cómoda visualización. Las carpetas pueden ser jerarquizadas y los objetos de cualquier tipo de datos pueden ser almacenados juntos, permitiendo una completa flexibilidad en el desarrollo de las mejores técnicas de administración de los de archivo para un proyecto particular. (Villanera & Villanera, 2008)

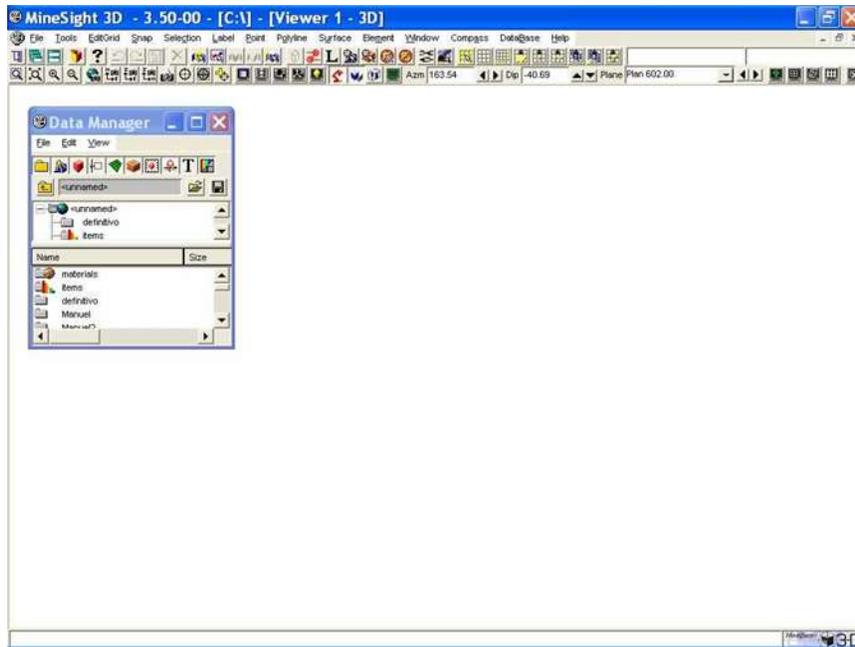


Figura 4. Ventana de Control Visual y el Data Manager

**4.5.1** MineSight Economic Planner (MSEP) es la herramienta que se utiliza en el software MineSight para la optimización de tajos y leyes de corte, diseño de etapas, etc. Para lograrlo se diseña un tajo final sobre la base de parámetros económicos y geométricos, que refleje los límites rentables de un cuerpo mineralizado. Luego, se diseñan las etapas susceptibles de explotación que definen a grandes rasgos la secuencia de arranque. Se utiliza el modelo de las redes de Lerchs-Grossmann para el modelo de optimización del tajo.

**4.5.2** Método Lerch-Grossmann: Este algoritmo de programación dinámica original fue demostrado en el diseño de la configuración óptima de bloques para ser removidos en una sección transversal bi-dimensional (2D) (Lerchs-Grossmann, 1965). Tomando una sección transversal 2D de un modelo de bloques y las restricciones de ángulo de pared final definidas. El algoritmo procede calculando la suma de la columna de valores originales de bloques para cada bloque. Este valor de la suma de la columna representa un valor acumulativo, realizando una extracción de una sola columna vertical, desde la parte de arriba

del modelo de bloques para cada bloque individual.

A continuación, se asigna columna-por-columna iniciando desde cualquier punto final de una columna de la sección transversal, un valor de pit representando el máximo valor del pit potencial 2D es computado para cada bloque. Este valor de pit es calculado de la suma de los valores de los bloques de la columna, y el valor predeterminado del pit de un bloque adyacente a la columna previa. Este nuevo valor es la contribución máxima posible del inicial fin de columna para la columna que contiene tal bloque para cualquier pit 2D posible que contiene el bloque en su contorno. Una flecha se usa para indicar el bloque adyacente que proporciona el máximo valor para calcular el valor del pit de un bloque en particular. El límite final del pit es entonces determinado al trazar hacia atrás las flechas obtenidas desde el bloque en el nivel superior que tiene el máximo valor de pit.

La aproximación a la programación dinámica originalmente definida por Lerchs-Grossmann (1965) es capaz de generar el contorno óptimo del pit mediante secciones transversales en 2D. Una geometría de pit 3D final es entonces determinada al unir la geometría determinada por múltiples secciones transversales a través del pit. Una verdadera optimización puede no ser obtenida por el ensamble de estas secciones transversales 2D, y generalmente encuentra que el límite final puede también afectar el valor del ángulo final de pit.

La aplicación de la teoría gráfica para el diseño de límites de pit fue creativamente introducido por (Lerchs-Grossmann. 1965) El modelo del algoritmo integra problemas zero-one dentro de la red de ramificaciones. Los vértices son equivalentes a bloques minados, y los arcos direccionados impuestos representan las limitaciones de la pendiente del pit. Estos arcos direccionados indican la relación entre bloques de estéril que deben ser removidos antes de minar un bloque de mena en particular. Entonces cualquier contorno de pit factible es obtenido mediante el cierre de la gráfica. Lerchs y

Grossmann reconocieron que el pit final es un problema de determinación del cierre de una gráfica con una masa total máxima.

Este algoritmo inicia por cada vértice dentro de cada categoría de nodo positivo ó negativo correspondiente para cada valor de bloque (positivo = potencial mena y negativo = estéril). Arcos direccionados son generados para representar las limitaciones de la pendiente de un nodo positivo a su nodo negativo sobrepuesto. En general, el algoritmo construye la gráfica de árbol inicial desde los bloques en el nivel superior del modelo de bloques y procede hacia abajo nivel por nivel. El árbol inicial es construido mediante un conjunto de arcos Dummy conectando el nodo Dummy de referencia a todos los vértices. El árbol será entonces transformado en árboles sucesivos siguiendo un conjunto de reglas. El proceso de transformación continúa hasta que ninguna otra transformación es posible. El algoritmo termina en un número infinito de iteraciones. El método permite diseñar, en una sección vertical, la geometría del pit que arroja la máxima utilidad neta. Resulta atractivo por cuanto elimina los procesos de prueba y error de diseñar manualmente el tajo en cada una de las secciones.

El primer paso es dividir la sección transversal del pit en bloques. Se selecciona el tamaño del bloque para obtener una altura equivalente a la del banco, y se selecciona un grosor del bloque de tal forma como para que la línea diagonal resultante a través de los bloques, genere el ángulo de la pendiente total deseada.

El siguiente paso es asignar valores a los bloques, basándose en la ley del mineral y las condiciones económicas de la propiedad minera. Los bloques de estéril, son asignados por números negativos, los cuales equivalen al costo en extraer estos bloques de material. Los bloques de mineral, son asignados por números positivos, los cuales equivalen al beneficio generado al extraer estos bloques sin incluir el costo de extracción de material estéril. El beneficio se determina restando todos los costos de producción al precio de venta de los

minerales producidos. Esto incluye extracción, tratamiento en Planta, transporte, comercialización y costos administrativos en general.

#### 4.5.3 Pit Expansion Tool (Herramienta para Expansión de Fosa)

Esta herramienta de MineSight es muy útil en el diseño en tres dimensiones, le permite al planificador de minas hacer lo siguiente:

- Pulir los contornos del bloque completo de los repliegues del pit DIPPER y crear líneas de pie y cresta.
- Expandir un pit hacia arriba o abajo, hacia dentro o afuera, desde un contorno de nivel base del pie de acuerdo a la altura del banco especificado y ya sea las especificaciones del ángulo de fosa/ángulo de talud de banco o especificaciones de ancho berma/ángulo de talud de banco.
- Usar taludes variables o anchos de berma.
- Mostrar pies solamente o pies y crestas de cada nivel de expansión.
- Editar un pit a la vez que se expande.
- Triangular contornos de pit.
- Agregar carreteras sin o con caminos de retroceso en la expansión.
- Agregar bermas de seguridad.
- Agregar ranuras para las bandas transportadoras.
- Proveer información para los anchos de explotación adecuados.
- Usar la geometría de banqueo doble, triple, etc.
- Expandir banco por banco o muchos bancos a la vez.
- Producir superficies mostrando la geometría de pit al final de cada fase de minado en la vida total de la mina.

Los diseños de fases producidos interactivamente con la herramienta de expansión de pit proveen la base para los resúmenes detallados de reservas explotables y la programación anual.

La herramienta “Pit Expansion” se invoca desde Menú Herramientas (Tools). La ventana

“Pit Expansion” contiene siete Pestañas, cada uno usada para la entrada de los parámetros específicos de expansión de pits. Ver figura 5

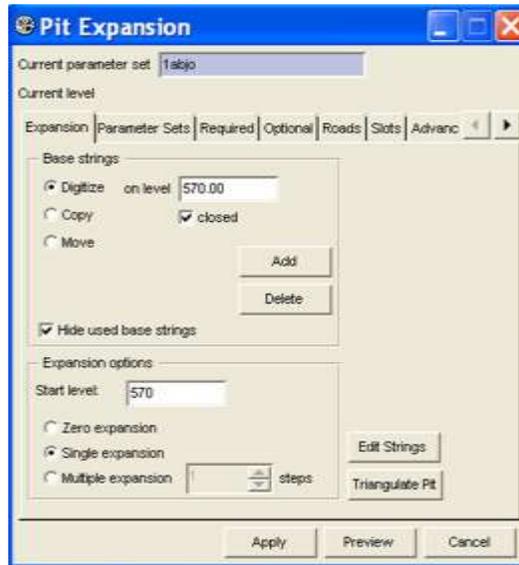


Figura 5. Ventanilla Pit Expansion

Así como muchas de las herramientas de MineSight, la herramienta de Pit Expansion tiene un botón de Preview (previsualizar) para tener una vista previa del pit antes de guardarlo. Las cuerdas recién creadas se pueden conservar al presionar el botón Apply (aplicar) directamente.

El botón “Triangular Pit” crea una superficie triangulada de un pit que será guardada en un objeto geométrico aparte que se seleccione.

Al iniciar la herramienta se abre un cuadro de dialogo donde a partir del cual se debe crear un nuevo objeto geométrico “Geometry Object” donde se almacenaran todos los resultados del diseño de pit, a menos que ya este un objeto geométrico en modo de edición. Si un objeto geométrico esta en modo de edición cuando es invocado el pit expansion, este será usado para almacenar los resultados.

**4.5.3.1 Pestaña Expansion:** se utiliza para fijar los parámetros iniciales de la expansión de pit, incluyendo el nivel que en comienza la expansión, las opciones para seleccionar o crear el contorno del fondo de la fosa, y las opciones básicas de la expansión.

**4.5.3.2** Pestaña Parameter Set (Conjunto de Parámetros): es donde se crean los conjuntos de parámetros que serán usados para definir, seleccionar y guardar la información sobre la expansión del pit.

**4.5.3.3** Pestaña Required (Parámetros Requeridos): es donde se introducen los parámetros específicos de la expansión, tales como: elevación inicial, altura del banco, ángulo de talud, ángulo de fosa, ancho de berma, etc; que serán guardados en el sistema de parámetros actual. También se selecciona desde esta pestaña el tipo de expansiones verticales u horizontales del pit, es decir, se puede definir por ésta si la dirección de la expansión será hacia arriba, hacia abajo, hacia adentro o hacia fuera.

**4.5.3.4** Pestaña Optional (Parámetros Opcionales): ésta contiene las opciones que permiten especificar varios parámetros de la expansión a través de un sector o de un archivo modelo. Se pueden especificar ángulos de taludes, ángulos de fosas o anchos de bermas usando un sector, el ítem del valor del modelo o usando el código/ modelo.

**4.5.3.5** Pestaña Roads (Caminos): ésta permite incorporar la ubicación y especificaciones de los caminos que serán construidos con la expansión de la fosa.

**4.5.3.6** Pestaña Slots (Ranuras): ésta permite introducir los parámetros para ubicación y especificaciones de la ranura; como por ejemplo, para agregar una cinta transportadora o tubería.

**4.5.3.7** Pestaña Advanced: permite no alisar las esquinas del pit conservando una forma convexa.

#### **4.5.4** El Menú Polilínea

Las operaciones de Menú Polilínea se utilizan para crear y editar las polilíneas y polígonos (polilíneas cerradas). Algunas operaciones trabajan solo con polilíneas pero la mayoría trabaja con polilíneas y polígonos.

Estas son las operaciones principales que se encuentran en el Menú Polilínea:

- Create (Crear)
- Create Planar (Crear Plano)
- Append (Adjuntar)
- Close (Cerrar)
- Convert 2D to 3D (Convertir 2D a 3D)
- Convert 3D to 2D (Convertir 3D a 2D)
- Compute area/length (Calcular area/longitud)
- Delete Segment (Borrar Segmento)
- Delete by Length (Borrar por longitud)
- Delete by Area (Borrar por area)
- Join (Unir)
- Assemble (Reunir)
- Global Combine (Combinación global)
- Split/Splice (Partir/Empalme)
- Clip Polylines, Points, Labels... (Recortar polilíneas, puntos, etiquetas...)
- Self-Intersecting Polylines... (Auto-intersección de polilínea)
- Intersect Polygons (Intersección de polígonos)
- Densify (Densificar)
- Thin (Afinar)
- Smooth (Suavizar)
- Contour Surface (Contornear superficie)
- Isopachs (Thickness Contours) (Isópacos, contorno de espesores)
- Line (Alinear)
- Substring (Subcadena)
- Redefine (Redefinir)
- Offset Polyline (Polilínea fuera de set).

#### 4.6 Pasos para realizar la expansión de la fosa suavizada nivel a nivel (Single expansion):

Para realizar la expansión se debe inicializar la pit expansion tool. Posteriormente se debe ajustar en la pestaña *expansion* el nivel en el que se digitalizara la misma y en la pestaña *required* se debe ajustar la elevación a utilizar. Las elevaciones deben coincidir.

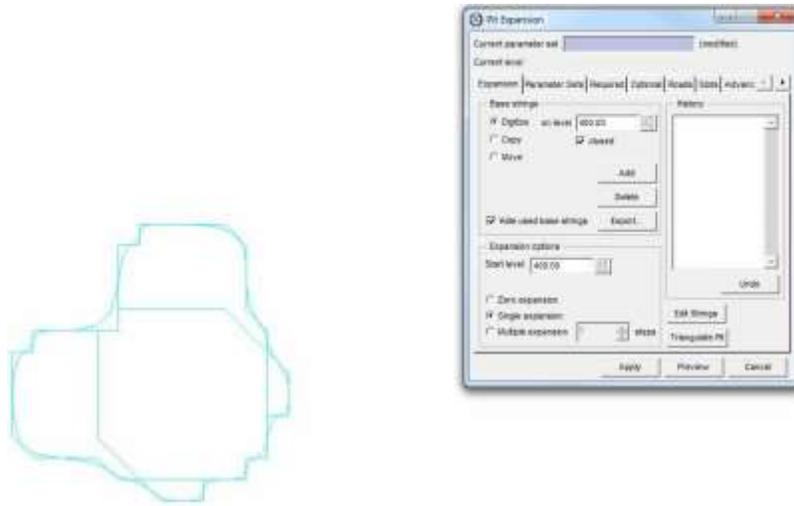


Figura 6. Pit expansion tool



Figura 7. Pit expansion tool pestaña required.

Se procede a digitalizar la curva base sobre el diseño no suavizado. Una vez realizada la curva base se aplica y se avanza al siguiente nivel de expansión.

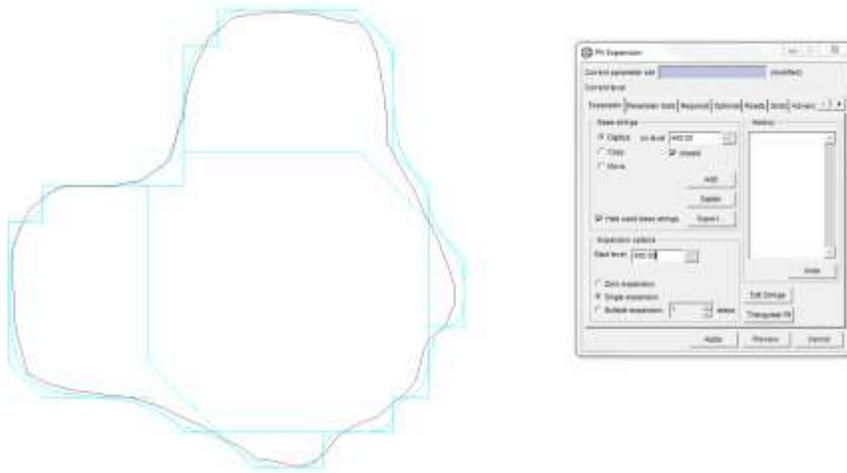


Figura 8. Digitalización de la curva base

En los niveles siguientes se ajustan las curvas bases con respecto al modelo no suavizado, añadiendo curvas base para modificar el diseño en el nivel que se este y aplicarlo y avanzar nivel a nivel modificando para ajustar con respecto al modelo y suavizar.

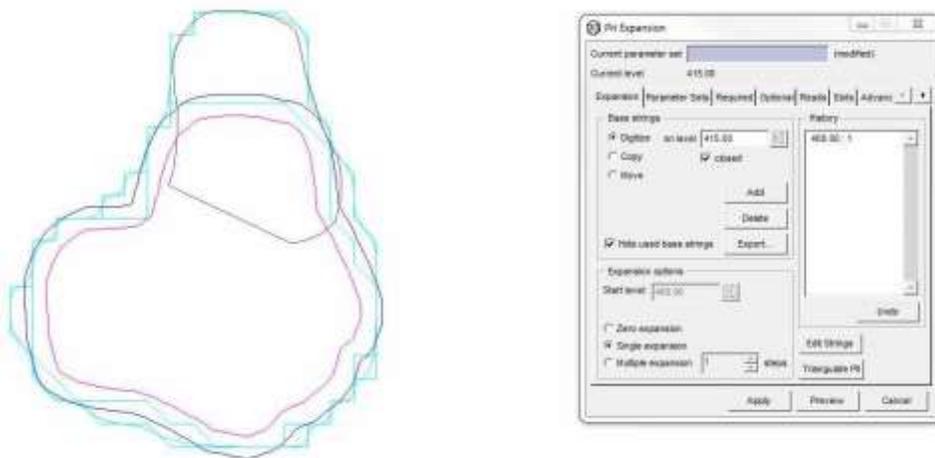


Figura 9. Modificación de diseño de expansión añadiendo curva base.

## CAPITULO 5. RESULTADOS

### Diseño del pit suavizado de la mina Los Barrancos de alto tenor

Se generó el reporte de volumen antes de suavizar

```

START SURFACE: STOPOG : TOPOG
End surface: STOPOG : PITIO
Grid set: JGF-KP\Planar\grid planar
    
```

ELEV.	CUT CU METER	CUMULATIVE CU METER	FILL CU METER	CUMULATIVE CU METER	NET CU METER	CUM. NET CU METER
745.00	78812	78812	1474	1474	77338	77338
730.00	570569	649381	11069	12542	559501	636839
715.00	1388420	2037801	3095	15638	1385325	2022163
700.00	2692625	4730426	115091	130729	2577534	4599697
685.00	4263733	8994160	350581	481309	3913153	8512850
670.00	5386500	14380659	583727	1065036	4802773	13315623
655.00	8496988	22877647	525788	1590824	7971199	21286822
640.00	11386221	34263868	733748	3324572	10652473	31939296
625.00	14406167	48670035	816388	3140960	13589779	45529075
610.00	14159876	62829911	1159782	4300742	13000094	58529169
595.00	13289371	76119282	3151561	7452303	10137810	68666979
580.00	12097865	88217147	4266735	11719038	7831130	76498109
565.00	7888764	96105910	5781996	17501034	2106767	78604876
550.00	5756105	101862015	5646187	23147221	109918	78714794
535.00	4618225	106480240	6810903	29958124	-2192678	76522116
520.00	3738482	110218722	6627742	36585866	-2889261	73632855
505.00	3161559	113380580	8214037	44799903	-5052178	68580678
490.00	2906889	116287469	7162247	51962150	-4233158	64325319
475.00	2210886	118498356	5657823	57619974	-3446937	60878382
460.00	1480056	119978411	5273427	62893400	-3793371	57085011
445.00	1084167	121062578	5395127	68288528	-4310961	52774050
430.00	780000	121842578	3748860	74037388	-4968860	47805190
415.00	420000	122262578	7382627	81420015	-6962627	40842563
400.00	202500	122465078	3749485	85169500	-3546985	37295578
385.00	67500	122532578	3996856	89166356	-3929356	33366222
370.00	0	122532578	3876912	93043269	-3876912	29489309
355.00	0	122532578	5817222	98860491	-5817222	23672087
340.00	0	122532578	6632182	105492673	-6632182	17039905
325.00	0	122532578	9414446	110907118	-9414446	11625460
310.00	0	122532578	1764234	112671352	-1764234	9861226

Figura 10. Volumen de fosa de alto tenor

Se importó el pit de alto tenor junto con su superficie

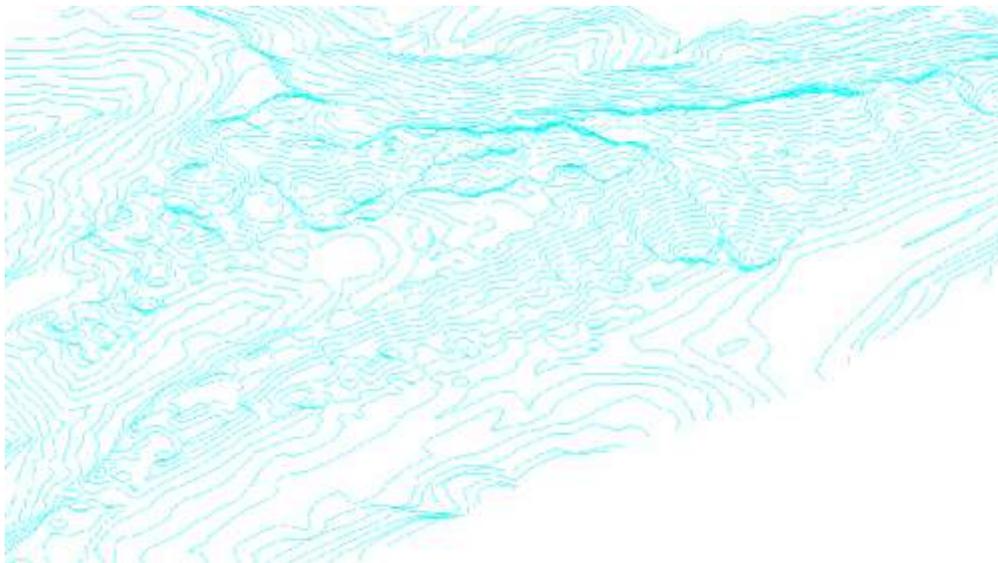


Figura 11. Dipper Alto tenor Mina Los Barrancos CSV Ferrominera Orinoco C.A

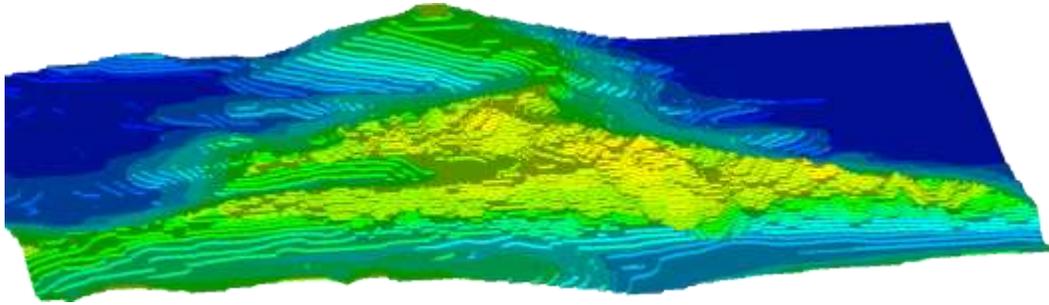


Figura 12. Superficie Alto tenor Mina Los Barrancos CSV Ferrominera Orinoco C.A

Se realizó 1 diseño suavizado de la mina Los Barrancos, tomando en cuenta solo mineral de alto tenor (Menas duras y Blandas)

Las expansiones se realizaron nivel a nivel con la herramienta pit expansion del software minesight 3D, adaptando y suavizando las curvas dependiendo de la topografía con respecto a la fosa importada, para generar una fosa suavizada.

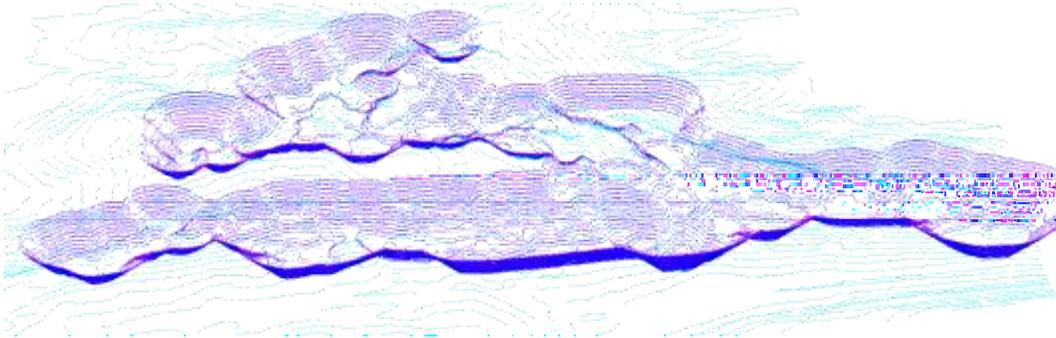


Figura 13. Diseño de la fosa suavizada de alto tenor

Posteriormente se intersectó la fosa generada con la topografía para obtener la fosa final.

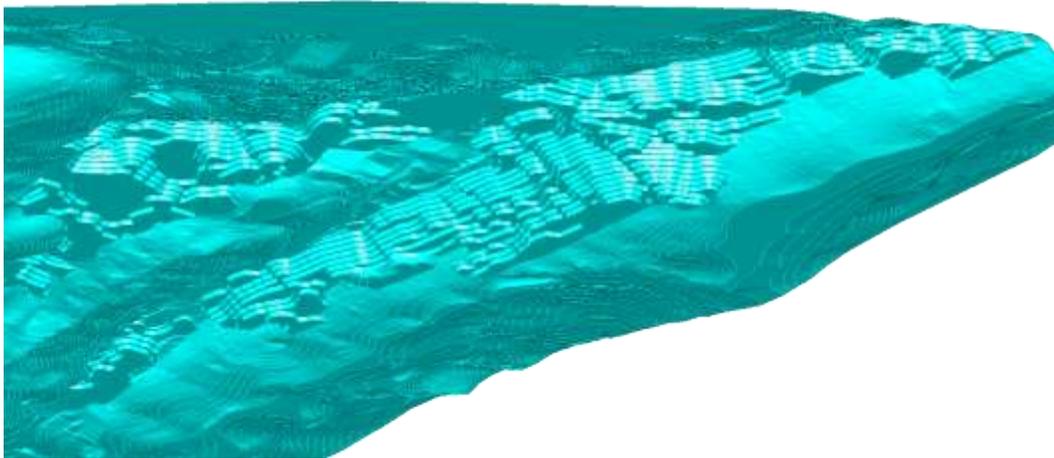


Figura 14. Intersección Fosa de Alto tenor

Para finalizar se generó el volumen de material de la fosa de alto tenor

```

Archivos: Edición: Formato: Ver: Ayuda
START surface: 3D Topo : [unnamed surface]
END surface: Inter 10 : [unnamed surface]
Grid set: 3DF-SP\Planar\Grid planar
  
```

ELEV.	CUT CU METER	CUMULATIVE CU METER	FILL CU METER	CUMULATIVE CU METER	NET CU METER	CUM. NET CU METER
745.00	81371	81371	0	0	81371	81371
730.00	622316	703687	0	0	622316	703687
715.00	1659949	2363636	0	0	1659949	2363636
700.00	3138638	5502274	0	0	3138638	5502274
685.00	4965285	10467558	0	0	4965285	10467558
670.00	4651645	15119204	0	0	4651645	15119204
655.00	7572552	22691756	0	0	7572552	22691756
640.00	10144387	32836143	0	0	10144387	32836143
625.00	12987634	45823777	0	0	12987634	45823777
610.00	12862102	58685880	0	0	12862102	58685880
595.00	12027100	70712980	0	0	12027100	70712980
580.00	11131365	81844345	0	1	11131365	81844344
565.00	5639557	87483902	0	1	5639557	87483901
550.00	5041763	92525665	0	1	5041763	92525664
535.00	3699141	96224806	0	1	3699141	96224805
520.00	2949834	99174640	0	1	2949834	99174639
505.00	2729057	101903697	0	1	2729057	101903697
490.00	2535130	104438827	0	1	2535130	104438826
475.00	1496645	105935472	0	1	1496645	105935471
460.00	1295120	107230592	0	1	1295120	107230591
445.00	1020308	108250899	0	1	1020307	108250899
430.00	725188	108976087	0	1	725188	108976086
415.00	332237	109308324	0	1	332237	109308324
400.00	182407	109490731	0	1	182407	109490730

Figura 15. Reporte de volumen de fosa de alto tenor

## CONCLUSIONES

- La topografía inicial de la fosa de excavación de la mina los barrancos muestra todas las zonas del yacimientos, las cuales junto con su reporte inicial de volumen por niveles muestran las áreas donde se debe suavizar y donde habrá una disminución del volumen para poder trabajar de acuerdo a los parámetros de diseño dados por la empresa, altura de banco, ángulo de pit final, ángulo de talud.
- Se trabajó a partir del nivel 400 en el suavizado de fosa, a pesar de la importación de datos comenzando en el nivel 315, ya que los niveles anteriores no contaban con el suficiente radio operativo necesario para los equipos, influyendo así en el volumen de material inicial y final. Esto muestra aún más la necesidad de la realización de un suavizado de fosa para las operaciones.
- El reporte generado muestra una diferencia de 10.64% de volumen de material entre la fosa suavizada y la importada. La fosa antes de suavizar reporta un volumen de 122.532.578 metros cúbicos y posterior al suavizado de 109.490.731 metros cúbicos, esta cantidad de material es necesaria removerla para poder lograr un diseño más ajustado al óptimo y no generar áreas angulosas donde no pueden operar los equipos con comodidad, ya que en la realidad los diseños antes de suavizarlos no pueden ser desarrollados en la mina debido a los radios de giro que necesitan los equipos para poder operar con facilidad.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda aplicar la misma metodología para la mina Los Barrancos con mineral de hierro de bajo tenor para ser enviado a la planta piloto de concentración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balestrini, M. (2006). Como se elabora el proyecto de investigación. Caracas, Venezuela.
- C.V.G Ferrominera Orinoco C.A. (2010). [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.ferrominera.com>
- CVG Ferrominera Orinoco C.A. “Jefatura de Área de Geología”. Gerencia General de Operaciones. Gerencia de Minería. Superintendencia de ingeniería de mina. Ciudad Piar 2018.
- CVG Ferrominera Orinoco C.A. “Jefatura de Área de Planificación de Mina”. Gerencia General de Operaciones. Gerencia de Minería. Superintendencia de ingeniería de mina. Ciudad Piar 2018.
- CVG Ferrominera Orinoco C.A. “Proceso de explotación de mineral de hierro”. Gerencia General de Operaciones. Gerencia de Minería. Superintendencia de ingeniería de mina. Ciudad Piar 2017.
- García, E. (2007) *108-P-04 ASPECTOS MINEROS Y METALURGICOS*
- García, E. (2007) *108-P-04 CREACION DE FOSA FINAL DE EXCAVACION EN PROYECTOS MINESIGHT (HERRAMIENTA PIT EXPANSION TOOL).*
- Hurtado, J. (2010). Guía para la comprobación holística de la ciencia. Caracas, Venezuela.
- Lerchs, H. and Grossmann, I. 1965. Optimum desing of open pit mines. CIM Bulletin 58. pp47-52.
- Villanera, S & Villanera, S. (2008) *PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO MINERO PARA LAS MINAS SAN ISIDRO, LOS BARRANCOS, LAS PAILAS Y ALTAMIRA A PARTIR DEL LÍMITE FINAL DE EXCAVACIÓN MEDIANTE el software minero MINESIGHT. CVG Ferrominera Orinoco. Ciudad piar. Estado Bolívar.*